

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.09.2022 12:51:19  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько



«28»

июня

2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Основы физического металловедения**

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

3 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Ляхова М.Б.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью освоения дисциплины является изучение основных вопросов физического материаловедения. Изучаются основные понятия кристаллографии, физики кристаллизации, физики реальных кристаллов. Рассматривается связь между физическими свойствами и структурой металлов и сплавов. Подробно изучаются основные типы диаграмм состояния. Студентами практически осваиваются различные экспериментальные методы исследования структуры металлов и сплавов.

Задачами освоения дисциплины являются формирование и развитие у обучающихся компетенций: способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач; способность выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Основы физического материаловедения» изучается в модуле «Магнетизм» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Содержательно дисциплина связана с дисциплинами «Физика магнитных явлений», «Магнетизм в конденсированных средах», «Доменная структура магнетиков», «Процессы перемагничивания магнетиков», «Микромагнетизм». Для успешного освоения дисциплины необходимы знания основных законов общей и теоретической физики. Дисциплина является основой общего физического практикума, производственной и преддипломной практик.

Профессиональные компетенции, сформированные при изучении данной дисциплины, необходимы для успешной работы обучающегося при выполнении выпускной квалификационной работы.

**3. Объем дисциплины:** 3 зачетные единицы, 108 академических часов,

**в том числе:**

**контактная аудиторная работа:** лекции 34 часа, лабораторные работы 34 часа;

**самостоятельная работа:** 40 часов.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>УК-1.</b> Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	<b>УК-1.1.</b> Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие. <b>УК-1.2.</b> Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи.
<b>ПК-2.</b> Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок.	<b>ПК-2.1.</b> Проводит экспериментальные исследования с применением научно-исследовательского оборудования в соответствии с утвержденными методиками. <b>ПК-2.2.</b> Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов.

## 5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Зачет в 5 семестре.

6. Язык преподавания: русский.

II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в т.ч. контроль (час.)
		Лекции		Лабораторные работы		
		всего	в т.ч. практическая подготовка	всего	в т.ч. практическая подготовка	
<b>Лекции</b>						
<b>Введение.</b> Металловедение и его цели. Критерии металлического состояния вещества. Современная классификация металлов. Методы исследования структуры металлов.	<b>2</b>	<b>2</b>				
<b>Основы кристаллографии.</b> Кристаллическая структура и пространственная решетка. Операции и элементы симметрии кристаллических многогранников. Плоскость симметрии, ось симметрии, центр симметрии. Полярные направления. Инверсионные оси симметрии. Зеркально-поворотные оси симметрии. Кристаллографические категории и сингонии. Решетки Бравэ. Теоремы о сочетании точечных элементов симметрии. Точечные группы симметрии и их классификация. Лауэвские классы симметрии. Энантиоморфные фигуры. Кристаллографические индексы Миллера. Операции и элементы симметрии кристаллических структур. Трансляция. Плоскости скользящего отражения. Винтовые оси симметрии. Пространственные группы симметрии и системы их	<b>12</b>	<b>8</b>				<b>4</b>

<p>обозначений. Пространственные группы антисимметрии. Предельные группы симметрии. Основной принцип симметрии в кристаллофизике.</p>						
<p><b>Основы кристаллохимии.</b> Атомные и ионные радиусы. Координационное число и координационный многогранник. Определение стехиометрической формулы вещества. Типы связи в структурах: металлическая, ионная, ковалентная и Ван-дер-Ваальса. Плотнейшие упаковки частиц в структурах. Политипия.</p>	4	2				2
<p><b>Процессы кристаллизации металлов.</b> Энергетические условия процесса кристаллизации. Теоретическая и фактическая температуры кристаллизации. Переохлаждение и перенагревание. Кривые охлаждения и нагревания. Механизм процесса кристаллизации. Простейшая схема кристаллизации. Кинетическая кривая кристаллизации. Кривые Таммана. Термодинамика процесса кристаллизации. Критический размер устойчивого зародыша. Реальные процессы кристаллизации металлов. Равновесная и неравновесная форма кристаллов. Типичное строение металлических слитков. Влияние условий охлаждения на структуру металлических слитков. Методы получения монокристаллов, крупнозернистых поликристаллов, мелкокристаллических, аморфно-кристаллических и аморфных металлов. Уникальность свойств металлов в аморфном состоянии. Явление полиморфизма. Аллотропические формы. Аллотропия железа и олова.</p>	6	4				2
<p><b>Сплавы. Строение сплавов.</b> Сплавы. Методы получения сплавов. Классификация сплавов. Свойства металлических сплавов. Механические смеси металлов. Типы химических соединений элементов. Закон валентности в соединениях металлов и неметаллов. Области гомогенности металлических соединений. Твердые растворы на основе одного их компонентов сплава. Растворы замещения и внедрения. Влияние легирования на свойства сплавов. Неограниченные и ограниченные твердые растворы замещения. Явление изоморфизма. Твердые растворы на основе</p>	6	4				2

химических соединений. Растворы вычитания. Дальтониды и бертоллиды. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения металлов (фазы Юм-Розери). Фазы Лавеса. Фазы внедрения.						
<p><b>Механические свойства металлов.</b>  Металлы как конструкционные материалы. Упругая и пластическая деформации. Виды кривых деформации. Механические характеристики материалов: жесткость, модуль упругости, предел текучести, предел прочности, пластичность, вязкость. Дислокационная теория пластической деформации металлов. Способы упрочнения металлических сплавов. Явление сверхпластичности металлических сплавов. Явление наклепа. Структурные изменения в металлах при пластических деформациях. Возврат и рекристаллизация. Температура рекристаллизации. Горячая и холодная обработка давлением. Ненаклепываемые металлы. Структурные изменения при первичной рекристаллизации. Механизмы роста зерен при вторичной рекристаллизации: зародышевый, миграционный, слияния зерен. Надежность и долговечность металлов. Механизмы хрупкого и вязкого разрушения. Типы сколов. Фрактография. Влияние температуры на механизм разрушения. Порог хладоломкости, температура полухрупкости, запас вязкости.</p>	4	4				
<p><b>Диаграммы состояния.</b> Фаза, компонент, степень свободы системы. Правило фаз Гиббса. Примеры нон-, моно- и бивариантных систем. Правило фаз Гиббса для металлов. Особенности температурных условий кристаллизации одно-, двух и трехкомпонентных металлических сплавов. Методы построения диаграмм состояния. Правило отрезков для диаграмм состояния бинарных сплавов. Диаграмма состояния 1 рода для механических смесей. Эвтектика. Эвтектическая реакция. Диаграмма состояния 2 рода для неограниченных твердых растворов. Равновесное состояние сплава. Диффузия в жидкой и твердой фазе. Диаграммы состояния 3 рода для ограниченных твердых растворов. Диаграмма с эвтектикой. Первичная и вторичная кристаллизация. Диаграмма с</p>	18	8				10

<p>перитектикой. Перитектическая реакция. Особенности микроструктуры. Диаграммы состояния 4 рода для сплавов, компоненты которых образуют химические соединения. Устойчивые и неустойчивые химические соединения. Диаграммы с одним и несколькими устойчивыми химическими соединениями и твердыми растворами на их основе. Диаграмма с неустойчивым химическим соединением. Диаграммы состояния для сплавов, испытывающих полиморфные превращения. Эвтектоид и эвтектоидная реакция. Связь между диаграммой состояния и свойствами бинарных сплавов. Кристаллизация сплавов в неравновесных условиях. Непрерывная кристаллизация жидкого раствора. Структура дендритной ликвации. Гомогенизация. Критические скорости охлаждения. Дисперсионно-твердеющие сплавы. Неравновесная кристаллизация твердого раствора. Когерентные и некогерентные фазы. Изменение структуры сплавов в процессе термических обработок. Диаграммы состояния сплавов с тремя компонентами. Концентрационный треугольник. Правило прямой линии. Вертикальные и горизонтальные разрезы диаграммы состояния. Особенности процессов кристаллизации в трехкомпонентной системе. Двойная и тройная эвтектики. Диаграмма состояния и микроструктура сплава, три компонента которого не растворимы в твердом состоянии и не образуют химических соединений.</p>						
<p><b>Термические обработки металлов и сплавов.</b> Технология металлов и термические обработки. Цель термической обработки. Характеристики режимов термической обработки: скорости нагрева и охлаждения, температура и длительность воздействия. Классификация видов термических обработок металлов и сплавов. Отжиги 1 и 2 рода, закалка, отпуск и старение. Специальные виды термических обработок металлов. Методы определения режимов термических обработок по диаграммам состояния сплавов.</p>	2	2				

<b>Лабораторные работы</b>						
<b>Работа №1.</b> Изучение методики приготовления шлифов и выявления их микроструктуры для металлографического анализа.	<b>6</b>			<b>6</b>		
<b>Работа №2.</b> Определение геометрических параметров порошковых материалов методами стереометрической металлографии.	<b>10</b>			<b>6</b>		<b>4</b>
<b>Работа №3.</b> Построение кривой распределения по размерам шаровидных частиц карбонильного железа.	<b>10</b>			<b>6</b>		<b>4</b>
<b>Работа №4.</b> Определение параметров однофазной полиэдрической структуры.	<b>10</b>			<b>6</b>		<b>4</b>
<b>Работа №5.</b> Определение удельной поверхности раздела и количественного соотношения фаз в гетерогенных сплавах.	<b>10</b>			<b>6</b>		<b>4</b>
<b>Работа №6.</b> Определение плотности дислокаций и качественная оценка характера их распределения в монокристалле кремния.	<b>8</b>			<b>4</b>		<b>4</b>
<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>34</b>		<b>34</b>		<b>40</b>

### III. Образовательные технологии

Учебная программа-наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
<b>Введение.</b>	Лекция	Традиционная лекция Презентация
<b>Основы кристаллографии.</b>	Лекция	Традиционная лекция Презентация
<b>Основы кристаллохимии.</b>	Лекция	Традиционная лекция Презентация
<b>Процессы кристаллизации металлов.</b>	Лекция	Традиционная лекция Презентация
<b>Сплавы. Строение сплавов.</b>	Лекция	Традиционная лекция Презентация



<b>Механические свойства металлов.</b>	Лекция	Традиционная лекция Презентация
<b>Диаграммы состояния.</b>	Лекция	Традиционная лекция Презентация

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации.**

##### **Типовые задания для оценки уровня формирования компетенций.**

**УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач:**

##### **Задания:**

1. В неизвестном сплаве присутствуют: по данным химического анализа – металлы  $A$  и  $B$ , оптической микроскопии – два типа зерен, рентгеноструктурного анализа – два типа кристаллических решеток, соответствующие решеткам  $A$  и  $B$ . Опишите тип сплава.
2. Металлы  $A$  и  $B$  неограниченно растворимы в жидком и нерастворимы в твердом состояниях.  $T_S^A > T_S^B$ . Эвтектика содержит 30 мас.%  $A$ . Нарисуйте равновесную диаграмму состояния сплава  $A$  и  $B$ .

**ПК-2. Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок.**

**Задание:** Опишите прилагаемую диаграмму состояния системы R-Fe по схеме:

- Перечислите химические соединения.
- Укажите по каким реакциям они образуются.
- Опишите эвтектические реакции.
- Перечислите полиморфные превращения.
- Перечислите твердые растворы.
- Опишите микроструктуру сплавов указанных составов.

## **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Рекомендуемая литература**

#### **а) Основная литература:**

1. Ляхова, М.Б. Основы физического металловедения [Электронный ресурс]: учебное пособие / М. Б. Ляхова. – Тверь: Тверской государственный университет, 2016. – 240 с.
2. Розин, К.М. Кристаллофизика. Учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие / К.М. Розин, В.С. Петраков. – Электрон. дан. – Москва : МИСИС, 2006. – 249 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/51712>.
3. Каплунов И.А. Физическое материаловедение. Фазовые равновесия [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Тверь: Тверской государственный университет, 2011. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Режим доступа: [http://texts.lib.tversu.ru/texts/fizicheskoe\\_materialovedenie\\_fazovye\\_ravnovesiya\\_2011/e-book/index.html](http://texts.lib.tversu.ru/texts/fizicheskoe_materialovedenie_fazovye_ravnovesiya_2011/e-book/index.html).

#### **б) Дополнительная литература:**

1. Басалаев, Ю.М. Кристаллофизика и кристаллохимия [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Кемерово : КемГУ, 2014. — 403 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/61407>.
2. Розин, К.М. Кристаллофизика. Учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие / К.М. Розин, В.С. Петраков. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2006. – 249 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/51712>.

#### **Электронные библиотечные системы:**

1. ЭБС «ИНФРА-М» <http://www.znaniium.com>
2. ЭБС «Университетская библиотека ОН-ЛАЙН» <http://www.biblioclub.ru>
3. ЭБС «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com>
4. Сервер информационно-методического обеспечения учебного процесса ТвГУ <http://edc.tversu.ru>

## VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

### Вопросы для подготовки к письменным опросам рейтингового контроля.

#### Модуль №1. Основы кристаллографии

- Какими символами в кристаллографии обозначаются следующие элементы симметрии: поворотные оси симметрии; зеркальные плоскости симметрии; центр симметрии; инверсионные оси симметрии; зеркально-поворотные оси симметрии; винтовые оси симметрии; плоскости скользящего отражения?
- Напишите формулу симметрии следующих плоских фигур: квадрата; ромба; прямоугольника; равностороннего треугольника; равнобедренного треугольника; правильного шестиугольника; круга.
- Опишите систему координат всех кристаллографических сингоний.
- К каким сингониям относятся следующие точечные группы симметрии:  $L_33P$ ;  $L_33L_2$ ;  $L_4PC$ ;  $L_44L_25PC$ ;  $L_6PC$ ;  $L_66L_2$ ;  $3L_44L_36L_2$ ;  $3L_44L_36L_2$ ?
- Чему равны вектора трансляции следующих элементов симметрии: плоскостей скользящего отражения типа  $a$ ;  $b$ ;  $c$ ;  $n$ ;  $d$ ; винтовых осей  $2_1$ ;  $3_1$ ;  $3_2$ ;  $4_1$ ;  $4_2$ ;  $4_3$ ;  $6_1$ ;  $6_2$ ;  $6_3$ ;  $6_4$ ;  $6_5$ ?
- Сколько плоскостей симметрии может проходить через следующие оси симметрии:  $L_2$ ;  $L_3$ ;  $L_4$ ;  $L_6$ ?
- Сколько осей симметрии  $L_2$  может проходить перпендикулярно следующим осям симметрии:  $L_2$ ;  $L_3$ ;  $L_4$ ;  $L_6$ ?
- Возможно ли в кристаллических многогранниках существование двух пересекающихся осей  $L_2$ ;  $L_3$ ;  $L_4$ ;  $L_6$ ?
- Какие поворотные оси симметрии возможны в кристаллических многогранниках?
- Какие инверсионные оси симметрии возможны в кристаллических многогранниках?

- Чему равны элементарные углы осей симметрии  $L_1$ ;  $L_2$ ;  $L_3$ ;  $L_4$ ;  $L_6$ ?
- Какие углы между плоскостями возможны в кристаллических многогранниках?
- Какие из винтовых осей симметрии являются нейтральными?
- Какие типы решеток Бравэ существуют во всех сингониях.
- Назовите количество:
  - кристаллографических категорий;
  - кристаллографических сингоний;
  - точечных классов симметрии;
  - пространственных групп симметрии;
  - пространственных групп антисимметрии;
  - предельных точечных групп симметрии;
  - типов решеток Бравэ.

## **Модуль №2.**

### **Основы кристаллохимии**

1. Что такое эффективный радиус атома или иона и от чего он зависит?
2. Что такое координационное число?
3. Как строится координационный многогранник?
4. Как определить стехиометрическую формулу вещества?
5. Перечислите типы связей в кристаллических структурах.
6. Что такое коэффициент компактности структуры?
7. Перечислите плотнейшие упаковки частиц в структурах.
8. Каковы коэффициенты компактности ОЦК, ГЦК и ГПУ решеток?
9. Чем отличаются две плотнейшие упаковки частиц в структурах?
10. Что такое политеипия?

### **Основы физики реальных кристаллов**

1. Чем отличаются идеальный и реальный кристаллы?
2. Что такое монокристалл? Каково строение поликристалла?
3. Перечислите типы точечных дефектов в кристаллах.

4. Перечислите типы линейных дефектов в кристаллах.
5. Перечислите типы поверхностных дефектов в кристаллах.
6. Перечислите типы объемных дефектов в кристаллах.
7. Напишите формулу для равновесной концентрации точечных дефектов в реальном кристалле.
8. Что такое вектор Бюргерса, какова его ориентация относительно линий дислокаций различных типов?
9. Чем отличаются малоугловые и большеугловые границы зерен?
10. Какую структуру кристалла называют «мозаичной» или «блочной»?

### **Процессы кристаллизации металлов**

1. Что такое теоретическая и фактическая температуры кристаллизации?
2. Что такое переохлаждение и перенагревание?
3. Что понимают под степенью переохлаждения?
4. Что такое кривые охлаждения и нагревания?
5. Назовите два элементарных процесса кристаллизации.
6. Какой зародыш кристаллизации называется устойчивым?
7. Какая форма кристаллов называется равновесной?
8. Перечислите неравновесные формы кристаллов.
9. Назовите типичные зоны в строении металлических слитков.
10. Что такое полиморфизм и аллотропия.

### **Сплавы. Строение сплавов**

1. Что такое сплав?
2. Перечислите методы получения сплавов.
3. Какие сплавы называются металлическими?
4. Чем отличаются устойчивые и неустойчивые химические соединения?
5. Что такое область гомогенности металлического соединения?
6. Какой металл в твердом растворе называется растворителем?
7. Чем отличаются ограниченные и неограниченные твердые растворы?
8. Что такое изоморфизм?
9. Чем отличаются упорядоченные и неупорядоченные твердые растворы?

10. Что такое растворы вычитания?

### **Диаграммы состояния**

1. Что такое диаграмма состояния термодинамической системы?
2. Что такое фаза?
3. Что понимают под компонентами системы?
4. Что такое степень свободы системы?
5. Сформулируйте правило фаз Гиббса.
6. Что такое эвтектика. Какая реакция называется эвтектической?
7. Чем отличаются процессы первичной и вторичной кристаллизации?
8. Какая реакция называется перитектической?
9. Какая реакция называется эвтектоидной?
10. Какие фазы называются когерентными?

### **Требования к рейтинг-контролю**

В семестре проводится два контрольных модуля.

**I модуль** – 30 баллов. Письменный опрос по теории (10 вопросов) – 30 баллов: по 3 балла – за правильный ответ на каждый вопрос, по 1–2 балла – за неполный ответ.

**II модуль** – 70 баллов. Письменный опрос по теории (10 вопросов) – 30 баллов: по 3 балла – за правильный ответ на каждый вопрос, по 1–2 балла – за неполный ответ. Лабораторные работы (6 работ) – 40 баллов.

### **VII. Материально-техническое обеспечение**

Для проведения лекционных занятий необходима аудитория, оборудованная мультимедийным проектором. Для обеспечения лабораторных занятий используются металлографические микроскопы Neophot 30 и Axiovert 200 MAT, а также персональные компьютеры.

### **VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины**

№ п.п.	Обновленный раздел	Описание внесенных	Реквизиты
--------	--------------------	--------------------	-----------

	<b>рабочей программы дисциплины</b>	<b>изменений</b>	<b>документа, утвердившего изменения</b>
1.			
2.			